茶多酚的生物学功能及其在家禽生产中的应用

汪小红　武书庚*　王晓翠　王　晶　张海军

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，生物饲料开发国家工程研究中心，北京 100081）

摘　要：茶多酚是茶叶中多酚类化合物的总称，是天然抗氧化剂，广泛用于畜禽饲养。本文综述了茶多酚的组成和活性成分、生物学功能、作用机制及其在家禽生产中的应用，旨在为茶多酚在家禽生产中的科学应用提供依据。

关键词：茶多酚；生物学功能；作用机制；抗氧化作用；家禽生产

中图分类号：S83

茶多酚是从茶叶及其副产品中提取的、以 α-苯基苯并吡喃为结构基础的类黄酮化合物[1]，具有抗氧化、抑菌、抗病毒、改善肠道微生物、提高机体免疫力、调节脂代谢等生理功能。饲粮中添加适量茶多酚，可增强机体免疫功能、改善生产性能和产品品质等。本文综述了茶多酚的组成和活性成分，抗氧化、抑菌及调节脂代谢等功能和机制，及在家禽生产中的应用。

1　茶多酚的组成和活性成分

茶多酚又名茶儿茶素，占绿茶制品干重的 30%~42%[2]，由儿茶素类（黄烷醇类）、黄酮及黄酮醇类、花青素类、酚酸及缩酚酸类等化合物的复合体及少量咖啡碱组成，其中儿茶素类化合物约占茶多酚总量的 70%，包括 *D*-儿茶素（DC）、表儿茶素（EC）、表没食子儿茶素（EGC）、表没食子儿茶素没食子酸酯（EGCG）、表儿茶素没食子酸酯（ECG）5 种物质，其中以酯型 EGCG（占儿茶素总量的 50%~80%[3]）的抗氧化活性最高，在抗氧化中，由 ECG 和 EGCG 提供主要协同，黄酮醇类与儿茶素类互作，使茶多酚具有比单体更强的抗氧化能力[4]。

虽茶多酚抗氧化效果好于丁基羟基茴香醚(BHA)、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)等常见抗氧化剂，但实际应用中尚存在诸多限制，如脂溶性差、产品成分变异大、功能不稳定、

收稿日期：2015-12-22
基金项目：家禽产业技术体系北京市创新团队（CARS-PSTP）；国家科技支撑计划（2011BAD26B03）；现代农业产业技术体系（CARS-41-K13）
作者简介：汪小红（1990-），女，江西上饶人，硕士研究生，从事蛋品质营养调控研究。E-mail: w_xh_1992@163.com
*通信作者：武书庚，副研究员，硕士生导师，E-mail: wushugeng@caas.cn

易失活、脱咖啡碱程度不一等，严重影响了茶多酚的实际应用效果。近年来，提取分离技术不断改进，产品提取率提高，咖啡碱含量和成本降低。单一标记多组分定量分析已应用于茶叶提取物品质的评价[5]。改性（乙酰化、酯化[6]等）后的茶多酚因脂溶性好，可作为脂溶性抗氧化剂使用；用微胶囊包被茶多酚[7]后的产品不易氧化失活，但因成本较高，应用受限。目前，有研究利用纳米技术将茶多酚封存成明胶纳米粒子，可显著提高其生物学活性[8]。

2　茶多酚的生物学功能及其机理

2.1　抗氧化

作为天然抗氧化剂，茶多酚可改善家禽生产性能。家禽养殖中易发生氧化应激，导致采食量降低、胃肠道功能障碍，进而影响生产性能。当机体受到应激时，会产生大量自由基，当其超过机体抗还原能力，自由基代谢失衡，随之产生氧化应激，严重时引起氧化损伤[9]，茶多酚可通过抗氧化，缓解家禽应激，改善动物机体健康状况。

2.1.1　直接清除自由基

茶儿茶素的 B 环和 C 环中因存在邻或连苯酚基，且苯环上的 π 电子与氧原子中尚不成对的单电子发生共轭，使不成对的单电子倾向于苯环，氢氧键减弱[10]，使得含酚基的茶儿茶素具有较活泼的羟基氢。在氧化过程中，生成邻醌类及联苯酚醌的同时，提供氢离子（H^+），与氧自由基和脂质自由基结合形成惰性化合物，终止自由基的连锁反应，因此，茶儿茶素除清除链反应生成的自由基外，也能清除链反应中间产物（脂过氧和烷氧自由基），以消除过量自由基造成的脂质过氧化、DNA 氧化损伤及生物膜损伤等[11]。茶多酚清除自由基过程中，会形成双黄烷醇类、茶黄素类和茶红素等多种具有较强抗氧化作用的氧化产物[12]，使茶多酚抗氧化途径更加复杂。

2.1.2 间接清除自由基

茶多酚调节与自由基相关的氧化酶和抗氧化酶活性，从而间接作用于自由基，使机体免受氧化损伤。研究表明，多酚结构可络合铁、钙、铜等 10 多种金属离子，抑制以金属离子介导或催化的相关脂蛋白氧化和氧化酶的活性，保护抗氧化酶活性。EGCG 通过保护红细胞膜结合 ATP 酶以缓解氧化应激[13]，此外，茶多酚还可显著上调细胞中过氧化物歧化酶（*SOD*）、过氧化氢酶（*CAT*）、谷胱甘肽过氧化物酶（*GSH-Px*）基因的 mRNA 和相关蛋白质的表达水平，升高培养基中 SOD、CAT、GSH-Px 活性，从而清除氧自由基，减轻线粒

体受到的氧化损伤[14]。

2.1.3　其他途径

茶多酚还可再生和保护体内维生素 C、维生素 E，并与维生素 C、维生素 E 协同增强抗氧化作用[15]，这与茶多酚可增加低密度脂蛋白（LDL）中维生素 E 含量，抑制 LDL 脂质过氧化的结果一致[16]。EGCG 通过调节氧化还原反应中转录因子核因子 E2 相关因子 2（*Nrf*2）的表达，调节机体的抗氧化水平[17]；抑制鹌鹑肝脏中核转录因子 kappa B(*NF-κB*)和促进 *Nrf*2 的表达，缓解热应激[18]。EGCG 通过抑制 p47^{phox} 易位，减弱创伤性脑损伤引起的还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸（NADPH）氧化酶活性[19]。在由过氧化氢（H_2O_2）诱导小鼠氧化应激模型中，EGCG 通过调控蛋白激酶 B/糖原合酶激酶-3β(Akt/GSK-3β)信号通路影响细胞质膜微囊蛋白活性，使 H9c2 细胞氧化损伤减弱[20]。以上结果表明，茶多酚利用其结构特性直接清除和抑制自由基，激活细胞内抗氧化防御系统，调节与抗氧化相关的激素水平、酶基因和相关转录因子的表达，通过多种机制抗氧化，缓解机体氧化应激，保障动物健康。

2.2　抑菌

茶多酚广谱抗菌，已作为食品保鲜剂用于畜产品加工和贮藏，如水产品、油脂及肉类等食物的防腐保鲜。饲粮中添加茶多酚可抑制细菌滋生、延长保质期，饲喂家禽可起到抑菌、抗病毒、改善胃肠道健康，增强机体抵抗力等作用。

茶多酚分子中的多个酚羟基与蛋白质分子中的氨基或羧基发生氢结合，其疏水性的苯环又与蛋白质发生疏水结合，这种多点结合为其抑菌提供了基本条件。金属离子可作为某些酶的辅酶，部分金属离子也是微生物的必需养分，茶多酚通过络合金属离子、影响酶活和微生物代谢，抑制微生物生长和增殖[21]。研究显示，多酚类物质可改变细菌细胞膜的通透性、抑制胞外酶的活性、直接作用于微生物的新陈代谢、影响微生物对必需营养物质的吸收等途径抑制细菌[22]，这与儿茶素能破坏磷脂层结构，引起细胞死亡的结果[23]一致，提示茶多酚可能通过破坏细胞膜结构，以改变其通透性间接影响微生物代谢。另有研究表明，茶多酚直接作用于大肠杆菌 DNA，使其在凝胶电泳中变暗、拖尾[24]。EGCG 以抑制菌体数量影响感应信号分子的产生，进而抑制其毒力因子的释放和生物膜的形成，影响细菌增殖[25]。在中性或弱碱条件下，茶多酚还可通过产生过氧化氢抑制细菌增殖[26]。以上研究表明茶多酚抑菌是多种机理的共同作用，以络合金属离子、改变细胞膜通透性、影响感应分子生成及相关

基因表达等方面来抑制有害微生物代谢、生长和增殖。此外，茶多酚对由细菌引起的疾病有缓解作用，近来研究显示，绿茶提取物可抑制幽门螺杆菌导致的胃病，但不影响肠道有益微生物[27]。EGCG 能缓解由内毒素引起的神经受损状况，并对由炎症引起的神经退行性疾病有积极作用[28]。

2.3　调节脂代谢

多酚类化合物可调节肠道对脂质的消化与吸收。研究表明，绿茶儿茶素能降低食用高脂饲粮大鼠血液中胆固醇（TC）和甘油三酯（TG）含量[29]，EGCG 与其他酯类儿茶素联用，显著增强其絮凝 TC 的能力，降低小肠中 TC 的溶解及吸收[30]，EGCG 与牛黄胆酸作用可降低胶束溶液中卵磷脂和 TC 的溶解度[31]；高 EGCG 和 ECG 在体内呈剂量依赖性地抑制餐后血液中 TG 含量的升高[32]。结果提示，茶多酚抑制肠道对脂质的消化与吸收，并可能通过不同机制介导：EGCG 等儿茶素类抑制脂质的溶解作用，可能对肠道消化酶活性的调控。关于茶多酚对肠道消化和吸收脂质的作用机制还有待进一步研究。

茶多酚调节脂代谢相关基因的表达。研究表明，绿茶多酚可下调肝脏脂肪合成代谢基因的表达，显著上调脂肪运输和代谢相关基因，如肉毒碱棕榈酰转移酶（*CPT-I*）、酰辅酶 A 氧化酶 1（*ACOX*1）和过氧化物酶体增殖物激活受体（*PPAR*）α，腹部脂肪的甘油三酯脂肪酶（ATGL）和骨骼肌肉的脂蛋白脂肪酶（LPL），通过抑制脂肪酸合成和刺激脂肪分解，降低肉鸡脂肪沉积及血清脂质水平[33]; 长期饲喂肉鸡茶多酚和短乳杆菌 M8 可减少肠道细胞因子和 *NF-κB* mRNA 表达水平，促进胰脂肪酶和前胃胃蛋白酶活性，改善脂质代谢[13]，说明介导脂代谢酶相关基因的表达水平，调节脂质代谢合成代谢酶活性是茶多酚调控脂代谢的重要机制之一。

以上研究表明，茶多酚通过抑制肠道内外源性脂质的消化与吸收，调节脂代谢相关基因的表达，降低血清中 TC、TG 含量，调节脂肪组织、肝脏及心脏中 *PPARα*、*PPARβ/δ*、*PPARγ* 在 mRNA 和蛋白质水平的表达等机理来改善机体脂质代谢状况。另外，茶多酚还可激活肝脏、骨骼和脂肪组织中腺苷酸活化蛋白激酶，从而减少糖类和脂肪酸合成，促进其分解代谢，缓解肥胖及相关代谢综合征[34]。

茶多酚在体内抗氧化、抑菌及调节脂代谢的作用机理并非局限于其结构特性的直接作用，还能通过调节相关酶基因和转录因子的表达，从而单一地影响体内自由基含量、酶活性、

激素或蛋白质水平，而是通过更高效、广泛的方式建立脂质代谢、内分泌及抗氧化三者之间的动态平衡，维持动物机体健康。研究表明，茶多酚可降低皮质酮引起的氧化应激，改善肉鸡高血脂、生长抑制状况[35]；通过调控蛋鸡肝脏、血浆和蛋黄脂质，升高血浆中雌二醇和胰岛素水平，通过神经内分泌系统调节机体生理功能，以影响脂蛋白和载脂蛋白的合成来调节蛋鸡机体脂类的转运和脂质代谢[36]，并改善高果糖饲粮对大鼠心肌胰岛素信号、脂质代谢和炎症反应产生的不利影响，其抗炎作用可对心脏中参与胰岛素分泌、脂质代谢和炎症反应的 mRNA 基因进行调控[37]，从而改善动物脂质代谢、调节内分泌系统，提高机体抗氧化功能。

3 茶多酚在家禽生产中的应用

近年来，食品安全问题频发，影响了消费者对动物性产品的信心。作为天然抗氧化剂，植物多酚具有高效、安全[38]等优点，可用于改善机体健康，减少抗生素使用，缓解动物性产品遭受的污染。

3.1 茶多酚在家禽生产中的应用效果

3.1.1 肉禽

肉禽养殖过程中，长期或短期的应激（如热、免疫、捕捉、运输应激等）不可避免，应激可刺激肉禽下丘脑-垂体-肾上腺轴释放肾上腺皮质激素和糖皮质激素（GC），当机体 GC 累积过量时，将促进肌纤维蛋白分解并减少其合成，致肌肉生长缓慢、萎缩[35]。机体内稳态和氧化/抗氧化系统平衡遭到破坏时，氧化应激发生，鸡采食量和日增重降低，死亡率升高[39]，肉品质下降。大量动物试验表明，茶多酚能显著提高采食干酒糟及其可溶物（DDGS）饲粮肉鸡血液中总抗氧化能力（T-AOC）和 GSH-Px 活性，降低胸腿肌丙二醛（MDA）含量，提高机体及肉质的抗氧化水平[40]。绿茶提取物有抗禽流感 FAdV-4 作用，效果优于 ECG、EGC 和 EGCG 等单体儿茶素[41]。绿茶提取物还可降低公鸡精液中硫代巴比妥酸反应产物（TBARS），保护精子膜免受过氧化损伤，从而改善公鸡的繁殖性能[42]。1%乌龙茶粉可显著降低肉鸭皮下脂肪厚度、肌间脂肪，改善脂肪沉积[43]。近年来，研究以葡萄多酚替代肉鸡饲粮中维生素 E，不仅不影响肉鸡正常生长，还能提高肉鸡抗氧化和免疫水平，降低饲料成本[44]，饲喂葡萄果渣对肉鸡体内 α-生育酚有保护作用，降低肌肉脂质氧化的敏感性，增加多不饱和脂肪酸含量[45]。在高温应激条件下，饲喂由酸豆中提取的多酚化合物可增加肉

鸡淋巴细胞的数目和法氏囊相对重量，并减轻法氏囊发生病变[46]。以上结果说明植物类多酚提取物应用于肉禽生产，可显著降低机体及肉中脂质过氧化水平，增强机体免疫，改善肉品质。此外，将茶类制品与其他有效物质的联合使用已成为畜禽生产中的研究热点，并在应用创新上取得优异的成果。研究显示，添加 2%鱼油和 1.5%绿茶可改善肉鸡胃肠道微生物健康[47]，两者联合使用可降低饲粮成本，改善生产性能[48]。黑云母与绿茶联合添加到肉鸡饲粮中，可作为抗生素替代物维持肉鸡健康生长[49]。

茶多酚类茶叶制品正在作为一种安全、有效的饲料添加剂被广泛应用于动物生产中各项指标的改善，具有对改善家禽肠道健康、提高机体抗氧化及免疫水平等方面的影响，为生产出健康肉品提供理论依据。

3.1.2　蛋禽

哈夫单位是衡量蛋白品质和蛋品新鲜的指标，随着储存时间延长，浓蛋白变稀，哈夫单位下降。研究表明，蛋鸡饲粮中添加茶多酚能延缓鸡蛋储存过程中哈夫单位的降低[50]，显著降低蛋黄胆固醇和 MDA 含量，延长蛋的货架期[51]。饲粮中添加 6 g/kg 绿茶或 1 g/kg 茶儿茶素，可显著降低蛋鸡血液和肌肉中 TC、TG 和 LDL 含量，升高血液高密度脂蛋白（HDL），增加蛋黄中不饱和脂肪酸的含量[52-53]，且蛋黄中维生素 E 含量随绿茶添加水平升高而升高[54]。白藜芦醇是由花生、葡萄和桑椹等植物提取的多酚类化合物，鹌鹑饲粮中添加该物质能降低血清和蛋黄中 TBARS，升高血清维生素 E 含量[55]。槲皮素含有丰富的黄酮类物质，饲喂蛋鸡后可通过调节肠道环境改善生产性能[56]。结果表明多酚类物质能降低蛋禽血清和蛋黄中胆固醇含量，改善蛋鸡脂质代谢和蛋黄的脂肪酸组成，提高抗氧化水平，延缓禽蛋在储存期间的氧化过程。然而，有研究表明，茶儿茶素虽能提高鹌鹑受精率和蛋孵化率，延长蛋的货架期，但降低了蛋重和蛋壳品质[57]，此结果与前人研究基本一致[55, 58]，这可能是由于添加的茶类物质所含单宁酸过高所致。

茶多酚及其与抗坏血酸、维生素 E、酵母硒、乳酸菌等物质互作对提高家禽抗氧化和免疫力、调节脂质代谢、改善禽产品品质等方面已有大量研究，但在确定绿茶及多酚在家禽类动物上应用的量效关系上各有论断，对于不同畜禽其最佳剂量仍缺乏系统性研究，同时大剂量使用的安全性也不容忽视。

3.2　茶多酚在家禽生产中的应用剂量

生产实践中，饲粮中茶多酚、绿茶粉或 EGCG 等的添加剂量往往不同、效果有别（表 1）。

表 1　茶类制品的适宜剂量及对应效果

Table 1　The optimal doses and corresponding effects of tea products

项目 Items	添加物 Additive	适宜剂量 Optimal dose/%	应用效果 Application effect
蛋鸡 Layer	茶多酚 TP	0.01~0.04	延长蛋货架期、降低蛋黄中胆固醇[51]；提高产蛋率、降低料蛋比[50]
	绿茶粉 Green tea powder	≥1	提高产蛋率、蛋重，降低料蛋比[42,61]
肉鸡 Broiler	绿茶提取物 Green tea extracts	0.01~0.02	改善生产性能[59]（降低料重比，提高饲料效率）
	茶多酚 TP	≥0.03	改善高酒糟饲粮饲喂肉鸡机体及肉质的抗氧化性[38]
	绿茶粉 Green tea powder	0.5	抗球虫[60]，肉鸡生产中作为抗生素替代物[49]
鹌鹑 Quail	EGCG	0.02、0.04	热应激条件下，改善生产性能、缓解氧化应激[18,62]
	儿茶素 Catechin	0.2	提高繁育能力[57]

4　小　结

茶多酚可调节动物体内脂质代谢、内分泌及抗氧化三者之间的动态平衡，从而增强机体免疫功能，改善动物生产性能和产品品质。虽然关于茶多酚抗氧化、抑菌及调节脂代谢等作用的报道较多，但其具体作用机理尚不明确。茶多酚体内生物利用率、有效和耐受浓度及存在形式鲜有报道，茶多酚稳定性差、易氧化等问题亟待解决，茶多酚作为饲料添加剂在实际生产中的应用剂量及应用形式还有待进一步的探索和研究。

参考文献：

[1] 杨贤强,王岳飞,陈留记,等.茶多酚化学[M].上海:上海科学技术出版社,2003:312–322.

[2] BALENTINE D A,WISEMAN S A,BOUWENS L C.The chemistry of tea flavonoids[J].Critical Reviews in Food Science and Nutrition,1998,37(8):693–704.

[3] YANG C S,MALIAKAL P,MENG X F.Inhibition of carcinogenesis by tea[J].Annual Review of Pharmacology and Toxicology,2002,42:25–54.

[4] COLON M,NERÍN C.Synergistic,antagonistic and additive interactions of green tea polyphenols[J].European Food Research and Technology,2016,242(2):211–220.

[5] LI D W,ZHU M,SHAO Y D,et al.Determination and quality evaluation of green tea extracts through qualitative and quantitative analysis of multi-components by single marker (QAMS)[J].Food Chemistry,2016,197:1112–1120.

[6] 林梁鹏.酰化茶多酚的安全性毒理学评价[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2015.

[7] 熊何健,马玉婵,吴国宏.茶多酚的提取及微胶囊化工艺研究[J].食品科学,2005,26(10):137–140.

[8] KARIKALAN K,MANDAL K A.An application of nanotechnology for the stability and sustained biological activity of tea polyphenol[J].Research Journal of Biotechnology,2015,11(1):12–17.

[9] PRUCHNIAK M P,ARAZNA M,DEMKOW U.Biochemistry of oxidative stress[M]//POKORSKI M.Advances in clinical science.Switzerland:Springer International Publishing,2016:9–19.

[10] RICE-EVANS C A,MILLER N J,PAGANGA G.Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids[J].Free Radical Biology and Medicine,1996,20(7):933–956.

[11] 王媛,殷红,陈小波,等.茶多酚抗氧化作用的研究[J].安徽农业科技,2013,41(3):1232–1235.

[12] WANG Y,HO C T.Polyphenolic chemistry of tea and coffee:a century of progress[J].Journal of Agriculture and Food Chemistry,2009,57(18):8109–8114.

[13] SAFFARI Y,SADRZADEH S M H.Green tea metabolite EGCG protects membranes

against oxidative damage *in vitro*[J].Life Sciences,2004,74(12):1513–1518.

[14] TSENG Y H,YANG J H,MAU J L.Antioxidant properties of polysaccharides from *Ganoderma tsugae*[J].Food Chemistry,2008,107(2):732–738.

[15] DAI F,CHEN W F,ZHOU B.Antioxidant synergism of green tea polyphenols with α-tocopherol and L-ascorbic acid in SDS micelles[J].Biochimie,2008,90(10):1499–1505.

[16] YOKOZAWA T,NAKAGAWA T,KITANI K.Antioxidative activity of green tea polyphenol in cholesterol-fed rats[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2002,50(12):3549–3552.

[17] NA H K,SURH Y J.Modulation of Nrf2-mediated antioxidant and detoxifying enzyme induction by the green tea polyphenol EGCG[J].Food and Chemical Toxicology,2008,46(4):1271–1278.

[18] SAHIN K,ORHAN C,TUZCU M,et al.Epigallocatechin-3-gallate prevents lipid peroxidation and enhances antioxidant defense system via modulating hepatic nuclear transcription factors in heat-stressed quails[J].Poultry Science,2010,89(10):2251–2258.

[19] ZHANG B,WANG B,CAO S H,et al.Epigallocatechin-3-Gallate (EGCG) attenuates traumatic brain injury by inhibition of edema formation and oxidative stress[J].Korean Journal of Physiology & Pharmacology,2015,19(6):491–497.

[20] HSIEH S R,HSU C S,LU C H,et al.Epigallocatechin-3-gallate-mediated cardioprotection by Akt/GSK-3β/caveolin signalling in H9c2 rat cardiomyoblasts[J].Journal of Biomedical Science,2013,20(1):86.

[21] AN B J,KWAK J H,SON J H,et al.Biological and anti-microbial activity of irradiated green tea polyphenols[J].Food Chemistry,2004,88(4):549–555.

[22] DAGLIA M.Polyphenols as antimicrobial agents[J].Current Opinion in Biotechnology,2012,23(2):174–181.

[23] COX S D,MANN C M,MARKHAM J L.Interactions between components of the essential oil of melaleuca alternifolia[J].Journal of Applied Microbiology,2001,91(3):492–497.

[24] 董璐,代增英,韩晴,等.茶多酚对大肠杆菌抑菌机理的研究[J].生物学杂志,2015,32(1):72–75.

[25] 王伟涛.茶多酚中EGCG单体的制备纯化及其抑制铜绿假单胞菌生物膜的研究[D].硕士学位论文.无锡:江南大学,2014.

[26] LIU X X,LI J R,WANG Y B,et al.Green tea polyphenols function as prooxidants to inhibit *Pseudomonas aeruginosa* and induce the expression of oxidative stress-related genes[J].Folia Microbiologica,2013,58(3):211–217.

[27] ANKOLEKAR C,JOHNSON D,DA SILVA PINTO M,et al.Inhibitory potential of tea polyphenolics and influence of extraction time against *Helicobacter pylori* and lack of inhibition of beneficial lactic acid bacteria[J].Journal of Medicinal Food,2011,14(11):1321–1329.

[28] SEONG K J,LEE H G,KOOK M S,et al.Epigallocatechin-3-gallate rescues LPS-impaired adult hippocampal neurogenesis through suppressing the TLR4-NF-κB signaling pathway in mice[J].Korean Journal of Physiology & Pharmacology,2016,20(1):41–51.

[29] CHAN P T,FONG W P,CHEUNG Y L,et al.Jasmine green tea epicatechins are hypolipidemic in hamsters (*Mesocricetus auratus*) fed a high fat diet[J].Journal of Nutrition,1999,129(6):1094–1101.

[30] 葛建,林芳,李明揆,等.表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)生物活性研究进展[J].安徽农业大学学报,2011,38(2):156–163.

[31] OGAWA K,HIROSE S,NAGAOKA S,et al.Interaction between tea polyphenols and bile acid inhibits micellar cholesterol solubility[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2015,64(1):204–209.

[32] IKEDA I,TSUDA K,SUZUKI Y,et al.Tea catechins with a galloyl moiety suppress postprandial hypertriacylglycerolemia by delaying lymphatic transport of dietary fat in rats[J].Journal of Nutrition,2005,135(2):155–159.

[33] HUANG J B,ZHANG Y,ZHOU Y B,et al.Green tea polyphenols alleviate obesity in broiler chickens through the regulation of lipid-metabolism-related genes and transcription factor expression[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2013,61(36):8565–8572.

[34] YANG C S,ZHANG J S,ZHANG L,et al.Mechanisms of body weight reduction and metabolic syndrome alleviation by tea[J].Molecular Nutrition & Food

Research,2016,60(1):160–174.

[35] EID Y Z,OHTSUKA A,HAYASHI K.Tea polyphenols reduce glucocorticoid-induced growth inhibition and oxidative stress in broiler chickens[J].British Poultry Science,2003,44(1):127–132.

[36] 尹靖东.类黄酮对鸡蛋胆固醇及其氧化物形成的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2000.

[37] QIN B L,POLANSKY M M,HARRY D,et al.Green tea polyphenols improve cardiac muscle mRNA and protein levels of signal pathways related to insulin and lipid metabolism and inflammation in insulin-resistant rats[J].Molecular Nutrition & Food Research,2010,54(Suppl.1):S14-S23.

[38] 李昊阳,夏继桥,杨连玉,等.植物多酚的抗氧化能力及其在动物生产中的应用[J].动物营养学报,2013,25(11):2529–2534.

[39] MA W Q,NIU H H,FENG J,et al.Effects of zinc Glycine chelate on oxidative stress,contents of trace elements,and intestinal morphology in broilers[J].Biological Trace Element Research,2011,142(3):546–556.

[40] 李丽,闵育娜,张伟,等.茶多酚对高酒糟日粮肉鸡生产性能和抗氧化特性的影响[J].畜牧与兽医,2012,44(3):17–22.

[41] ASLAM A,MAHMOOD M S,HUSSAIN I,et al.Evaluation of antiviral effect of epigallocatechin gallate,epigallocatechin,epicatechin gallate and green tea extract against fowl adenovirus-4[J].Pakistan Journal of Zoology,2014,46(5):1283–1294.

[42] ABDO Z M A,HASSAN R A,EL-SALAM A A,et al.Effect of adding green tea and its aqueous extract as natural antioxidants to laying hen diet on productive,reproductive performance and egg quality during storage and its content of cholesterol[J].Egyptian Poultry Science Journal,2010,30(4),1121–1149.

[43] WU P,WEN C,LENG Z X,et al.Effect of oolong tea (*Camellia sinensis*) powder particle size on growth performance,fat deposition,meat quality and antioxidant activity in meat ducks[J].Animal Feed Science and Technology,2014,194:131–135.

[44] IQBAL Z, KAMRAN Z, SULTAN J I,et al.Replacement effect of vitamin E with grape polyphenols on antioxidant status,immune,and organs histopathological responses in broilers from 1-to 35-d age[J].Journal of Applied Poultry Research,2015,24(2):127–134.

[45] CHAMORRO S,VIVEROS A,REBOLÉ A,et al.Influence of dietary enzyme addition on polyphenol utilization and meat lipid oxidation of chicks fed grape pomace[J].Food Research International,2015,73:197–203.

[46] SRIKHUN T,AENGWANICH W,KONGBUNTAD W.Effects of polyphenols extracted from tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed coat on body weight,white blood cells,bursa of fabricius and NDV-HI titer of broilers under chronic heat stress[J].International Journal of Poultry Science,2010,9(10):988–995.

[47] SEIDAVI A,SIMÕES J.Evaluation of dietary fish oil plus green tea supplementation on the gizzard,ileum and cecum microflora in broiler chickens[J].Archivos de Zootecnia,2015,64(248):397–402.

[48] SARAEE M H A,SEIDAVI A,DADASHBEIKI M,et al.Effect of dietary supplementation with different levels of green tea powder and fish oil or their combination on carcass characteristics in broiler chickens[J].Pakistan Journal of Zoology,2014,46(6):1767–1773.

[49] SARKER M S K,KIM G M,YANG C J.Effect of green tea and biotite on performance,meat quality and organ development in ross broiler[J].Egyptian Poultry Science Journal,2010,30(1):77–88.

[50] 何柳青,曲湘勇,魏艳红,等.茶多酚和酵母硒及其互作对绿壳蛋鸡生产性能、蛋品质及蛋黄中胆固醇和硒含量的影响[J].动物营养学报,2012,24(10):1966–1975.

[51] 张旭,蒋桂韬,王向荣,等.茶多酚对蛋鸡生产性能、蛋品质和蛋黄胆固醇含量的影响[J].动物营养学报,2011,23(5):869–874.

[52] ZHOU Y B,WAN X C, HU J W,et al.Effect of green tea and tea catechins on the lipid metabolism of caged laying hens[J].The Indian Journal of Animal Sciences,2012,82(11):1408–1414.

[53] JO K S.Effects of a diet containing green tea powder on the physicochemical properties of eggs[J].Korean Journal of Food Preservation,2010,17(3):328–333.

[54] KOJIMA S,YOSHIDA Y.Effects of green tea powder feed supplement on performance of hens in the late stage of laying[J].International Journal of Poultry Science,2008,7(5):491–496.

[55] SAHIN K,AKDEMIR F,ORHAN C,et al.Effects of dietary resveratrol supplementation on egg production and antioxidant status[J].Poultry Science,2010,89(6):1190–1198.

[56] LIU H N,LIU Y,HU L L,et al.Effects of dietary supplementation of quercetin on performance,egg quality,cecal microflora populations,and antioxidant status in laying hens[J].Poultry Science,2014,93(2):347–353.

[57] KARA K,GÜÇLÜ B K,ŞENTÜRK M,et al.Influence of catechin (flavan-3-ol) addition to breeder quail (*Coturnix coturnix japonica*) diets on productivity,reproductive performance,egg quality and yolk oxidative stability[J].Journal of Applied Animal Research,2016,44(1):436–441.

[58] UUGANBAYAR D,BAE I H,CHOI K S,et al.Effects of green tea powder on laying performance and egg quality in laying hens[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2005,18(12):1769–1774.

[59] ERENER G,OCAK N,ALTOP A,et al.Growth performance,meat quality and caecal coliform bacteria count of broiler chicks fed diet with green tea extract[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2011,24(8):1128–1135.

[60] JANG S I,JUN M H,LILLEHOJ H S,et al.Anticoccidial effect of green tea-based diets against *Eimeria maxima*[J].Veterinary Parasitology,2007,144(1/2):172–175.

[61] UUGANBAYAR D,SHIN I S,YANG C J.Comparative performance of hens fed diets containing Korean,Japanese and Chinese green tea[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2006,19(8):1190–1196.

[62] TUZCU M,SAHIN N,KARATEPE M,et al.Epigallocatechin-3-gallate supplementation can improve antioxidant status in stressed quail[J].British Poultry Science,2008,49(5):643–648.

Biological Functions and Mechanisms of Tea Polyphenols and Its Application in Poultry Production

WANG Xiaohong WU Shugeng* WANG Xiaocui WANG Jing ZHANG Haijun

(*National Engineering Research Center of Biological Feed*, *Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Science*, *Beijing* 100081, *China)*

Abstract: Polyphenol compounds are an excellent natural antioxidant in tea and have been widely used in livestock feeding. The composition and the active ingredients of tea polyphenols, biological functions, mechanisms and its applications in poultry production were reviewed in this paper aimed at providing the reference for tea polyphenols' scientific applications in poultry production.

Key words: tea polyphenols; biological function; mechanisms; antioxidation; poultry production

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: wushugeng@caas.cn (责任编辑　武海龙)